

(51) Int. Cl.⁷
 H01L 21/322
 C30B 29/06
 502
 H01L 21/208

識別記号

F I
 H01L 21/322
 C30B 29/06
 502
 H01L 21/208

マークコード (参考)
 Y 4G077
 A 5F053
 H P

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全8頁)

(21) 出願番号 特願2000-328796 (P 2000-328796)

(22) 出願日 平成12年10月27日 (2000.10.27)

(71) 出願人 000228925

三菱マテリアルシリコン株式会社
東京都千代田区大手町一丁目5番1号

(72) 発明者 古川 純

東京都千代田区大手町1丁目5番1号 三菱マテリアルシリコン株式会社内

(72) 発明者 中嶋 健

埼玉県大宮市北袋町1丁目297番地 三菱マテリアル株式会社シリコン研究センター内

(74) 代理人 100085372

弁理士 須田 正義

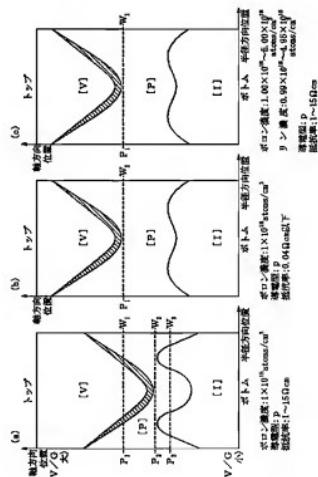
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】抵抗率を調整したシリコンウェーハ及びそのウェーハの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 デバイス工程の熱処理でウェーハ面内で均一なゲッタリング効果が得られ、比較的高い引上げ速度でも点欠陥の凝集体が殆ど存在せず、高い歩留まりで半導体集積回路を製造できる。ウェーハの抵抗率を所望の値に調整し得る。

【解決手段】 点欠陥の凝集体の数が検出下限値である 1×10^3 個/ cm^2 以下でありかつ $1 \sim 15 \Omega \text{ cm}$ の範囲内に抵抗率を調整した p型シリコンウェーハである。インゴット中のボロン濃度 C_b が $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18}$ atoms/ cm^3 の範囲内に、リン濃度が $0 \sim 90$ $C_b \sim 0 \sim 9.99 C_b$ atoms/ cm^3 の範囲内になるようにボロンとリンをドープし、かつインゴットの引上げ速度を V とし、シリコン融液とインゴットの接触面のインゴット鉛直方向の温度勾配を G とするとき、ウェーハ状態で熱酸化処理をした際にリング状に発生する OS F がウェーハ中心部で消滅するように、 V/G 値を決めてインゴットを引上げる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 点欠陥の凝集体の検出下限値を 1×10^3 個/ cm^3 とするとき、前記点欠陥の凝集体の数が前記検出下限値以下でありかつ導電型がp型であって、 $1 \sim 15 \Omega \text{ cm}$ の範囲内に抵抗率を調整したシリコンウェーハ。

【請求項2】 チョクラルスキーフ法に基づいて、シリコン単結晶インゴット中のp型不純物が所定の第1濃度(C_1)、n型不純物が前記第1濃度より小さい所定の第2濃度(C_2)にそれぞれなるように、前記p型不純物とn型不純物とを原料シリコンを融解したシリコン融液にそれぞれ含ませて、前記シリコン融液からインゴットを引上げ、前記インゴットから抵抗率を調整したシリコンウェーハを製造する方法。

【請求項3】 p型不純物がボロンであり、n型不純物がリン、アンチモン又は砒素であって、シリコン単結晶インゴット中の第1濃度(C_1)が $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18}$ atoms/ cm^3 の範囲内に、第2濃度(C_2)が0.9 $C_1 \sim 0.99 C_1$ atoms/ cm^3 の範囲内にそれぞれなるように前記p型不純物及びn型不純物をドープし、かつ前記インゴットの引上げ速度を V (mm/分)として、シリコン融液とインゴットの接触面におけるインゴット鉛直方向の温度勾配を G ($^\circ\text{C}/\text{mm}$)とするとき、ウェーハの状態で熱酸化処理をした際にリング状に発生する酸化誘起積層欠陥がウェーハ中心部で消滅するよう、 V/G (mm 2 /分・ $^\circ\text{C}$)の値を決めて前記インゴットを引上げる請求項2記載のシリコンウェーハの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、チョクラルスキーフ法(以下、CZ法という。)により作られた、抵抗率を調整したシリコンウェーハ及びそのウェーハの製造方法に関する。更に詳しくは点欠陥の凝集体が殆ど存在しない抵抗率が $1 \sim 15 \Omega \text{ cm}$ のp型のシリコンウェーハ及びその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体集積回路を製造する工程において、歩留りを低下させる原因として酸化誘起積層欠陥(Oxidation Induced Stacking Fault、以下、OSFという。)の核となる酸素折出物の微小欠陥や、結晶に起因したパーティクル(�石原晶起因粒子、以下、COPという。)や、或いは侵入型転位(Interstitial-type Large Dislocation、以下、LDという。)の存在が挙げられている。OSFは、結晶成長時にその核となる微小欠陥が導入され、半導体デバイスを製造する際の熟酸化工程等で顕在化し、作製したデバイスのリーク電流の増加等の不良原因になる。またCOPは、鏡面研磨後のシリコンウェーハをアンモニアと過酸化水素の混合液で洗浄したときにウェーハ表面に出現す

る結晶に起因したピットである。このウェーハをパーティクルカウンタで測定すると、このピットも本来のパーティクル(異物)とともに光散乱欠陥として検出される。このCOPは電気的特性、例えば酸化膜の経時絶縁破壊特性(Time Dependent dielectric Breakdown、T DDB)、酸化膜耐圧特性(Time Zero Dielectric Breakdown、T Z DB)等を劣化させる原因となる。またCOPがウェーハ表面に存在するとデバイスの配線工程において段差を生じ、断線の原因となり得る。そして素子分離部分においてリード等の原因となり、製品の歩留りを低くする。更にLDは、転位クラスターとも呼ばれたり、或いはこの欠陥を生じたシリコンウェーハをフッ酸を主成分とする選択エッチング液に浸漬するとピットを生じることから転位ピットとも呼ばれる。このLDも、電気的特性、例えばリーク特性、アイソレーション特性等を劣化させる原因となる。

【0003】以上のことから、半導体集積回路を製造するために用いられるシリコンウェーハからOSF、COP及びLDを減少させることが必要となっている。このOSF、COP及びLDを有しない無欠陥のシリコンウェーハが特開平11-1393号公報に開示されている。この無欠陥のシリコンウェーハは、シリコン単結晶インゴット内の空孔型点欠陥の凝集体及び格子間シリコン型点欠陥の凝集体がそれぞれ存在しないバーフェクト領域を[P]とするとき、バーフェクト領域[P]からなるインゴットから切出されたシリコンウェーハである。バーフェクト領域[P]は、格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在する領域[I]と、シリコン単結晶インゴット内で空孔型点欠陥が支配的に存在する領域

30 【V】との間に介在する。このバーフェクト領域[P]からなるシリコンウェーハは、インゴットの引上げ速度を V (mm/分)とし、シリコン融液とインゴットの接触面におけるインゴット鉛直方向の温度勾配を G ($^\circ\text{C}/\text{mm}$)とするとき、熟酸化処理をした際にリング状に発生するOSFがウェーハ中心部で消滅するよう、 V/G (mm 2 /分・ $^\circ\text{C}$)の値を決めて作られる。一方、シリコンウェーハはOSF、COP及びLDを有しない上に、既存のデバイス工程との整合を図るために、抵抗率が $1 \sim 15 \Omega \text{ cm}$ の範囲内にあることが求められる。また半導体デバイスマーカーの中には、デバイス工程で生じる金属汚染をゲッタリングする能力を有するシリコンウェーハを求める場合がある。ゲッタリング能力が十分に備わっていないウェーハでは、デバイス工程で金属により汚染されると、接合リークや、金属不純物によるトランジistor位によるデバイスの動作不良等を生じ、これにより製品の歩留りが低下する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記バーフェクト領域[P]からなるインゴットから切出されたシリコンウェーハは、通常抵抗率が $1 \sim 15 \Omega \text{ cm}$ であり、OSF、

COP及びLDを有しないけれども、デバイス工程の熱処理において、必ずしもウェーハ面内で均一に酸素析出が起らず、これによりゲッタリング効果が十分に得られない場合がある。またバーフェクト領域[P]からなるシリコンウェーハを作り出すV/G値は、温度勾配Gが一定である場合、インゴットの引上げ速度Vに比例し、狭い範囲に制御された比較的低い速度でインゴットを引上げることが要求されるが、この要求を確実に充足することは技術的に必ずしも容易ではなく、インゴットの生産性も高くない。

【0005】本発明の目的は、比較的高い速度でかつ広い範囲のV/G値でインゴットを引上げても点欠陥の凝集体が殆ど存在せず、高い歩留まりで半導体集積回路を製造でき、抵抗率が1~15Ωcmであることにより、既存のデバイス工程との整合を図ることができるシリコンウェーハ及びその製造方法を提供することにある。本発明の別の目的は、デバイス工程の熱処理でウェーハ面内で均一なゲッタリング効果が得られるシリコンウェーハ及びその製造方法を提供することにある。本発明の更に別の目的は、所望の抵抗率に調整し得るシリコンウェーハ及びその製造方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る発明は、点欠陥の凝集体の検出下限値を 1×10^3 個/cm³とするとき、前記点欠陥の凝集体の数が前記検出下限値以下でありかつ導電型がp型であって、1~15Ωcmの範囲内に抵抗率を調整したシリコンウェーハである。請求項1に係る発明によれば、点欠陥の凝集体が殆ど存在しないため、高い歩留まりで半導体集積回路を製造できる。また抵抗率が1~15Ωcmであるため、既存のデバイス工程との整合を図ができる。

【0007】請求項2に係る発明は、ショクランスキーフ法に基づいて、シリコン単結晶インゴット中のp型不純物が所定の第1濃度C₁、n型不純物が第1濃度より小さい所定の第2濃度C₂にそれぞれ異なるように、p型不純物とn型不純物とを原料シリコンを融解したシリコン融液にそれぞれ含ませて、シリコン融液からインゴットを引上げ、このインゴットから抵抗率を調整したシリコンウェーハを製造する方法である。請求項2に係る発明によれば、n型不純物の第2濃度C₂がp型不純物の第1濃度C₁より小さいため、導電型がp型であって、しかも抵抗率の調整されたシリコンウェーハを作製することができる。

【0008】請求項3に係る発明は、請求項2に係る発明であつて、p型不純物がボロン、n型不純物がリン、アンチモン又は砒素であるとき、シリコン単結晶インゴット中の第1濃度C₁が 1×10^{11} ~ 1×10^{12} a to ms/cm³の範囲内に、第2濃度C₂が0.90C₁~0.999C₁a to ms/cm³の範囲内にそれぞれなるようにp型不純物及びn型不純物をドープし、かつイ

ンゴットの引上げ速度をV (mm/分) とし、シリコン融液とインゴットの接触面におけるインゴット鉛直方向の温度勾配をG (°C/mm) とするとき、ウェーハの状態で熱酸化処理をした際にリング状に発生するOSFがウェーハ中心部で消滅するよう、V/G (mm²/分°C) の値を決めてインゴットを引上げるシリコンウェーハの製造方法である。

【0009】請求項3に係る発明によれば、p型不純物のボロンの第1濃度C₁を 1×10^{11} a to ms/cm³

以上にして、V/G値をウェーハの状態で熱酸化処理をした際にリング状に発生するOSFがウェーハ中心部で消滅する条件で、インゴットを引上げることにより、第一に、このインゴットから作られたシリコンウェーハは熱処理によってウェーハ面内で均一かつ高密度に酸素析出物 (Bulk Micro Defect、以下、BMDという。) が発生する。このBMDはデバイス工程中に侵入する微量の金属不純物を捕獲する、いわゆるイントリンシックゲッタリング (以下、IGといふ。) 効果を生じさせる。また第二に、高濃度でドープしたB原子と点欠陥 (格子間S iと空孔)との相互作用によって、点欠陥の拡散又は平衡濃度が変化し、これにより格子間S i型点欠陥の凝集体 (interstitial agglomerates) の形成が抑制されるため、シリコンウェーハにはLDは全く現れない領域が広がる。また第三に、OSFがウェーハ中心部で消滅するときの引上げ速度Vは、ボロンを高濃度にしないときに比べてB原子と点欠陥との相互作用によって高く、インゴットの生産性を高める。更に第四に、ボロンの濃度C₁を 1×10^{11} a to ms/cm³以上にすると共に、本来シリコンウェーハの抵抗率は0.04Ωcm以下になるが、リン、アンチモン又は砒素のn型不純物を0.90C₁~0.999C₁a to ms/cm³の濃度C₂でドープすることにより、得られるシリコンウェーハの抵抗率は1~15Ωcmに調整若しくは補償される。

【0010】

【発明の実施の形態】本発明のシリコンウェーハは、CZ法によりホットゾーン炉内のシリコン融液からインゴットを所定の条件で引上げた後、このインゴットをストライスして作製される。この所定の条件は、インゴットの引上げ速度をV (mm/分)、ホットゾーン構造でインゴット-シリコン融液の接触面のインゴット鉛直方向の温度勾配をG (°C/mm) とするときに、V/G (mm²/分°C) の値を制御して決められる。ここで、Gは具体的にはシリコン融液との接触面に近い1.412~1.30.0°Cのインゴットにおけるその鉛直方向の温度勾配をいう。前述したように、このCZシリコンウェーハは、熱酸化処理 (例えれば1000~1200°Cで1~2時間) を受けたときに、リング状のOSFが生じことがある。このOSFリングは、V/G値が大きくなるにつれてインゴットの外周側に移動し、V/G値が小さく

なるにつれてリング径が小さくなり、ウェーハ中心部でディスク状になった後、消滅する。

【0011】このことを図1(a)に基づいて説明する。図1(a)は引上げ速度Vを徐々に低下させたときのインゴットの縦断面図である。このインゴットは導電型がp型で抵抗率が $1 \sim 15 \Omega \text{ cm}$ になるように、 $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ の濃度でボロンがドープされて引上げられている。図1(a)には、インゴット内で空孔型点欠陥が支配的に存在する領域[V]と、格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在する領域[I]と、空孔型点欠陥の凝集体及び格子間シリコン型点欠陥の凝集体が存在しないペーフェクト領域[P]とが存在する。インゴットの軸方向位置P₁は、中央に空孔型点欠陥が支配的に存在する領域を含む。位置P₂は格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在するリング領域及び中央のペーフェクト領域を含む。また位置P₃は中央に空孔型点欠陥の凝集体が実質的に存在せず、縁部分に格子間シリコン型点欠陥の凝集体も実質的に存在しない、全てペーフェクト領域である。空孔型点欠陥の凝集体は、前述したCOPの他に、LST D (Laser Scattering Tomograph Defects) 又はFPD (Flow Pattern Defects) と呼ばれる欠陥を含む。LST Dとは、シリコン単結晶内に赤外線を照射したときにシリコンとは異なる屈折率を有し散乱光を発生する源であり、FPDとは、インゴットをスライスして作製されたシリコンウェーハを30分間セコ(Secco)エッティング液で化学エッチングしたときに現れる特異なフローパターンを量する痕跡の源である。

【0012】この位置P₁に対応したウェーハW₁は、中央に空孔型点欠陥が支配的に存在する領域を含む。位置P₂に対応したウェーハW₂は、格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在するリング及び中央のペーフェクト領域を含む。また位置P₃に対応したウェーハW₃は、中央に空孔型点欠陥の凝集体が実質的に存在せず、縁部分に格子間シリコン型点欠陥の凝集体も実質的に存在しないので全てペーフェクト領域である。しかしこのシリコンウェーハW₁に対して、酸化性雰囲気下、例えば $1000 \sim 1200^\circ\text{C}$ で1~2時間熟処理すると、OSFを生じる。図3に示すように、ウェーハW₁ではウェーハの半径の $1/2$ 付近にOSFリングが発生する。このOSFリングで囲まれた空孔型点欠陥が支配的に存在する領域[V]はCOPが出現する。

【0013】一方、このOSFのリング径はV/G値を一定にしておいても、p型不純物であるボロン(B)のドープ量に応じて変化する。図3に示すように、OSFのリング径をD₁、ウェーハの径をD₀とし、このときのD₁/D₀とボロンの濃度との関係を図4に示す。図4か

ら明らかなように、ボロン濃度が $2 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下では、リング状をなし、約 $6 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ でディスク状になり、 $9 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上になると消滅する。図1(b)及び図1(c)に、V/G値を連続的に低下させたときの図1(a)と同じ軸方向位置のインゴットの縦断面図をそれぞれ示す。図1(b)では導電型がp型で抵抗率が $0.4 \Omega \text{ cm}$ 以下になるように、 $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ の濃度のボロンがドープされてインゴットが引上げられている。また図1(c)では導電型がp型で抵抗率が $1 \sim 15 \Omega \text{ cm}$ の範囲内になるように、 $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ の濃度のボロンと $0.999 \times 10^{16} \sim 0.985 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ の濃度のリンがそれぞれドープされてインゴットが引上げられている。

【0014】図1(b)及び図1(c)では図1(a)と同じ位置P₁で熱酸化処理した際にリング状に発生するOSFがウェーハ中心部で消滅したウェーハが得られる。図1(b)及び図1(c)の位置P₁に代表されるウェーハは、図1(a)の位置P₁に対応するウェーハであって、中央に空孔型点欠陥の凝集体が実質的に存在せず、縁部分に格子間シリコン型点欠陥の凝集体も実質的に存在しないので全てペーフェクト領域のウェーハである。しかしながら、図1(b)の位置P₁に代表されるウェーハは、抵抗率が $0.04 \Omega \text{ cm}$ 以下と低いため、このウェーハの表面 $10 \Omega \text{ cm}$ 程度のエピタキシャル層を積層したエピタキシャルウェーハの基板には適するものの、 $0.04 \Omega \text{ cm}$ 以下でのままで既存のデバイス工程との整合が図られない。これに対して、図1(c)の位置P₁に代表されるウェーハは、抵抗率が $1 \sim 15 \Omega \text{ cm}$ であって、既存のデバイス工程との整合が図られ、COPやLDなどの点欠陥の凝集体の数が検出下限値以下であるウェーハである。なお、COPやLDなどの点欠陥の凝集体は検出方法によって検出感度、検出下限値が異なる値を示すことがあるため、本明細書においては、鏡面加工されたシリコン単結晶を無攪拌エッティングを施した後に光学顕微鏡により、観察面積とエッティング取り代との積を検査体積として観察するとき、フローバーチャン(空孔型欠陥)及び転位クラスター(格子間シリコン型点欠陥)の各凝集体が $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$ の検査体積に対して1個欠陥が検出された場合を検出下限値($1 \times 10^{-3} \text{ 個}/\text{cm}^3$)とする。

【0015】図2(a)～(c)に図1(a)～(c)と実質的に同じインゴット縦断面図を示す。図2(a)は図1(a)に、図2(b)は図1(b)に、図2(c)は図1(c)にそれぞれ対応する。図2(a)～(c)においては空孔型点欠陥の凝集体も格子間シリコン型点欠陥の凝集体も実質的に存在しない全てペーフェクト領域[P]を製造し得るV/Gの範囲を比較して示す。図2から明らかなように、ペーフェクト領域[P]

を製造し得る V/G の範囲が図2 (a) では僅かに Ra であったものが、図2 (b) 及び (c) ではこれより広い R_b , R_c となり、図2 (b) 及び (c) において、 V/G の厳格な引上げ制御を行わなくても、全長にわたってペーフェクト領域 [P] からなるシリコン単結晶インゴットを容易に製造することができる。

【0016】次に図1 (c) の位置 P_i に代表されるシリコンウェーハの製造方法について説明する。p型不純物のボロンを高濃度でドープすることにより低抵抗率になるシリコンウェーハの抵抗率を補償するためにドープするn型不純物としては、リン、アンチモン又は砒素が挙げられる。この中でリンがシリコン原子と共有結合半径の最も近いため好ましい。p型不純物のボロン濃度を第1濃度 C_1 とするとき、濃度 C_1 は $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18}$ atoms/cm³ の範囲内であることが、熱酸化処理した際にリング状に発生するOSFがウェーハ中心部で消滅したウェーハを得るために必要である。好ましくは $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18}$ atoms/cm³ の範囲内である。またn型不純物のリン濃度を第2濃度 C_2 とするとき、濃度 C_2 は濃度 C_1 より低い $0.9 C_1 \sim 0.99 C_1$ atoms/cm³ の範囲内であることが必要である。p型ウェーハの抵抗率を補償して $1 \sim 1.5 \Omega \text{ cm}$ にするためである。この濃度 C_2 は好ましくは $0.95 C_1 \sim 0.995 C_1$ atoms/cm³ の範囲内である。p型不純物の偏折係数とn型不純物の偏折係数とは異なるため、インゴットのトップ側とボトム側において抵抗値は大きく変化する。このため、シリコン単結晶（インゴット）の引上げ方法としてはドーパントの追加供給が可能な連続引上げ（CCZ）法がインゴット全長にわたって抵抗値を均一化でき好ましい。

【0017】

【実施例】次に本発明の実施例を比較例とともに説明する。

<実施例1>ウェーハにおける抵抗率 $1 \Omega \text{ cm}$ 、ボロン濃度 1.00×10^{18} atoms/cm³ 及びリン濃度 0.99×10^{18} atoms/cm³ を目標として、CCZ法によりシリコン単結晶インゴットを引上げた。高純度の多結晶シリコン 20 kg を初期原料とし、この原料ととともに金属ボロン 1.26 g 及び、リンをドープしたシリコンドーパント 1.47 g を、リンをドープした単結晶シリコンのリチャージ塊状物 20 kg を石英るつぼに入れ、この石英るつぼを加熱して原料及びドーパントを融解した。また金属ボロンを含む粒状多結晶シリコンを引上げ中にシリコン融液に徐々に供給した。この供給原料は合計 32 kg であった。実施例1と同じ引上げ速度 $V = 0.8 \text{ mm}/\text{分}$ 、インゴット中心の温度勾配 $G = 3.4^\circ/\text{mm}$ 、 $V/G = 0.23 \text{ mm}^2/\text{分} \cdot ^\circ\text{C}$ で引上げ、直径 6 inch で直胴部が 900 mm のインゴットを得た。前述したように、ボロンとリンの各偏折係数は相違するが、ボロンのドーパントを追加補充して

補正することにより、図5に示すようにインゴットの長さが大きくなって固化率が1に近づいても、抵抗率は引き上げ初期のときと比べて変化が少なかった。

<比較例1>引上げ速度 V を $0.9 \text{ mm}/\text{分}$ にした以外、実施例1と同じ条件でインゴットを引上げた。

【0018】<比較例2>実施例1と同じ目標値をもつて、金属ボロン 2.20 g 及び、リンをドープしたシリコンドーパント 2.56 g 及び、リンをドープした単結晶シリコンのリチャージ塊状物 35 kg を石英るつぼに入れ、この石英るつぼを加熱して原料及びドーパントを融解した。引上げ速度 $V = 0.8 \text{ mm}/\text{分}$ 、インゴット中心の温度勾配 $G = 3.4^\circ/\text{mm}$ 、 $V/G = 0.23 \text{ mm}^2/\text{分} \cdot ^\circ\text{C}$ でシリコン単結晶インゴットをCCZ法により引上げた。この引上げ条件はドーパントをドープしないときの図3に示す $D_1/D_2 = 0.9$ になる条件にはほぼ等しい。引上げたインゴットは直径 6 inch で直胴部が 600 mm であった。ボロンの偏折係数が 0.8 及びリンの偏折係数が 0.35 であるため、インゴットの長さが大きくなっている固化率が1に近づく程、図6に示すよう抵抗率は変化し、インゴットの導電型はp型からn型へ反転した。

<比較例3>引上げ速度 V を $0.9 \text{ mm}/\text{分}$ にした以外、比較例2と同じ条件でインゴットを引上げた。

【0019】<比較例4>ウェーハにおける抵抗率 $1.0 \Omega \text{ cm}$ 、ボロン濃度 1×10^{18} atoms/cm³ を目標として、高純度の多結晶シリコン 35 kg とともに、ボロンをドープしたシリコンドーパント 1.78 g を石英るつぼに入れ、この石英るつぼを加熱して原料を融解した。実施例1と同じ引上げ速度 $V = 0.8 \text{ mm}/\text{分}$ 、インゴット中心の温度勾配 $G = 3.4^\circ/\text{mm}$ 、 $V/G = 0.23 \text{ mm}^2/\text{分} \cdot ^\circ\text{C}$ でCCZ法により引上げ、直径 6 inch で直胴部が 600 mm のインゴットを得た。

<比較例5>引上げ速度 V を $0.9 \text{ mm}/\text{分}$ にした以外、比較例4と同じ条件でインゴットを引上げた。

【0020】<比較例6>ウェーハにおける抵抗率 $0.02 \Omega \text{ cm}$ 、ボロン濃度 1×10^{18} atoms/cm³ を目標として、高純度の多結晶シリコン 35 kg とともに、金属ボロン 2.2 g を石英るつぼに入れ、この石英るつぼを加熱して原料を融解した。実施例1と同じ引上げ速度 $V = 0.8 \text{ mm}/\text{分}$ 、インゴット中心の温度勾配 $G = 3.4^\circ/\text{mm}$ 、 $V/G = 0.23 \text{ mm}^2/\text{分} \cdot ^\circ\text{C}$ でCCZ法により引上げ、直径 6 inch で直胴部が 600 mm のインゴットを得た。

<比較例7>引上げ速度 V を $0.9 \text{ mm}/\text{分}$ にした以外、比較例6と同じ条件でインゴットを引上げた。

【0021】<比較評価>実施例1及び比較例1～7の各インゴットからスライスされたシリコンウェーハをそれぞれラッピングし、面取り加工を施した後、鏡面研磨をした。このようにして得られたシリコンウェーハをそれぞれ酸素雰囲気下、 1100°C で1時間熱処理してO

S F の発生の有無を調べた。またドナーキラー熱処理後、四端子抵抗測定法により各シリコンウェーハの抵抗率を測定した。統いて実施例1及び比較例1~7の各シリコンウェーハ表面の直径144mmの円内における0.11μm以上100μm以下のCOPの数をレーザーパーティクルカウンタ (KLA-Tencor社製、SF S 6200) を用いて調べた。また実施例1及び比較例1~7の各シリコンウェーハをセコ (Secco) エッティング液に接触せずに30分間浸漬し、これにより現れる特異なフローパターンの有無を見い出した後、更に光学顕微鏡でエッティングピットの有無を観察し、FDP及びL

Dの有無を調べた。

【0022】更に半導体デバイス製造工程に換して、これらのシリコンウェーハを800°Cで4時間、引続いて1000°Cで16時間熱処理した。熱処理した後、このウェーハを劈開し、ウェーハ表面をライト (Wright) エッティング液で選択エッティングを3分間行い、光学顕微鏡の観察により、ウェーハ表面から深さ300μmにおけるウェーハ中心部から周縁部に至るまでのBMDを測定しその密度を求めた。これらの結果を表1に示す。

【0023】

【表1】

	引上げ速度 (mm/s)	OSF リヤ面 (mm)	抵抗率 (Ω cm)	COP 密度 (/cm ²)	FDP 密度 (/cm ²)	LD 密度 (/cm ²)	BMD密度 (/cm ²)
実施例1	0.8	OSFなし	7~11	0.02	※	※	1×10 ¹⁰ ~1×10 ¹¹
実施例1	0.9	5	7~11	0.7	1×10 ⁴	※	1×10 ¹⁰ ~1×10 ¹¹
実施例2	0.8	OSFなし	p/n接合	0.02	※	※	1×10 ¹⁰ ~1×10 ¹¹
実施例3	0.9	5	p/n接合	0.6	1×10 ⁴	※	1×10 ¹⁰ ~1×10 ¹¹
実施例4	0.8	40	10	17	25×10 ⁴	※	OSFリンク ^a :1×10 ¹⁰ OSFリンク ^b :1×10 ⁴
実施例5	0.9	50	10	20	3×10 ⁴	※	OSFリンク ^a :1×10 ¹⁰ OSFリンク ^b :1×10 ⁴
実施例6	0.8	OSFなし	0.03	0.02	※	※	1×10 ¹⁰ ~1×10 ¹¹
実施例7	0.9	5	0.03	0.7	1×10 ⁴	※	1×10 ¹⁰ ~1×10 ¹¹

表中、「※」は検出下限値 ($1 \times 10^4 / \text{cm}^2$) 以下を意味する。

【0024】表1から明らかのように、ボロンとリンをドープした、引上げ速度0.8mm/sの実施例1のウェーハには、OSFは出現せず、またCOP、FDP及びLDの各密度も実質的に0であった。更に熱処理後のBMD密度は $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{11} / \text{cm}^2$ であり、IG効果を有することが判った。これらに対して、比較例2及び3では固溶化（インゴットの長さ）が約0.3を超えたところでp型からn型へ導電型が反転した。また比較例4、5のウェーハでは、酸化性雰囲気下の熱処理でOSFリングが現れ、比較例1、3及び7のウェーハでは、ディスク状のOSFが現れた。これに伴い、比較例2及び6を除いた比較例1、3、4、5、7のウェーハではCOP密度が実施例1と比べて多く、特に比較例4及び5のウェーハでは熱処理後のBMD密度がOSFリングの内側と外側とで大きく相違し、ウェーハ面内で均一なIG効果が得られないことが判った。更に比較例6及び7のウェーハでは、抵抗率が0.03Ω cmであって、所望の $1 \sim 15 \Omega \text{cm}$ の抵抗率ではなかった。

【0025】

【発明の効果】以上述べたように、本発明のシリコンウェーハは点欠陥の凝集体が殆ど存在しないため、高い歩

30

40

留まで半導体集積回路を製造できる。また抵抗率が1~15Ω cmであるため、既存のデバイス工程との整合を図ることができる。またシリコン単結晶を引上げるときにp型不純物とこれより少ないn型不純物の双方をドープするため、所望の抵抗率に調整したp型シリコンウェーハが得られる。更にボロンの濃度C_iを $1 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ の範囲内に、リン、アンチモン又は砒素の濃度を0.90C_i~0.999C_iatoms/cm³の範囲内にして、ウェーハの状態で熱酸化処理をした際にリング状に発生するOSFがウェーハ中心部で消滅するよう、V/G値を決めてインゴットを引上げることにより、第一に、このインゴットから作られたシリコンウェーハのウェーハ面内で均一かつ高密度にBMDを生じさせ、IG効果が得られる。第二に、高濃度でドープしたB原子が格子間S_i及び空孔と相互に作用することにより、格子間S_iの過飽和度が低下するため、格子間S_i型点欠陥の凝集体の形成が抑制され、シリコンウェーハにはLDは全く現れないと考えられる。また第三に、ボロンをドーピングとして抵抗率 $1 \Omega \text{cm}$ のインゴットを得る通常の引上げ速度と比較して、OSFがウェーハ中心部で消滅するときの引上げ速度Vは高く、インゴットの生産性を高める。更に第四

に、シリコンウェーハの抵抗率を $1\sim 15\Omega\text{cm}$ に調整することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a) ボロンを低濃度でドープして V/G 値を変化させて引上げたときのシリコン単結晶インゴットのX線トポグラフィの概略図。

(b) ボロンを高濃度でドープして V/G 値を変化させて引上げたときのシリコン単結晶インゴットのX線トポグラフィの概略図。

(c) ボロンを高濃度で、かつ抵抗率が $1\sim 15\Omega\text{cm}$ に調整されるようにリンをドープして V/G 値を変化させて引上げたときのシリコン単結晶インゴットのX線トポグラフィの概略図。

【図2】(a) ボロンを低濃度でドープして V/G 値を変化させて引上げたときのシリコン単結晶インゴットの

X線トポグラフィの概略図。

(b) ボロンを高濃度でドープして V/G 値を変化させて引上げたときのシリコン単結晶インゴットのX線トポグラフィの概略図。

(c) ボロンを高濃度で、かつ抵抗率が $1\sim 15\Omega\text{cm}$ に調整されるようにリンをドープして V/G 値を変化させて引上げたときのシリコン単結晶インゴットのX線トポグラフィの概略図。

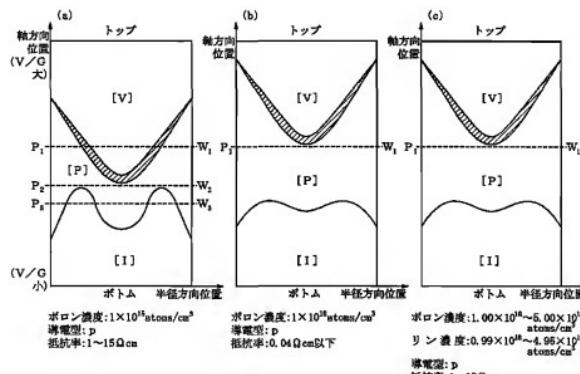
【図3】OSFを生じたシリコンウェーハの平面図。

【図4】 V/G 値を一定にしてB濃度を変えたときの D_i/D_0 の値の変化を示す図。

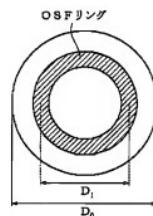
【図5】実施例1のインゴットを引上げたときのインゴット長により抵抗率が変化する状況を示す図。

【図6】比較例2のインゴットを引上げたときのインゴット長により抵抗率が変化する状況を示す図。

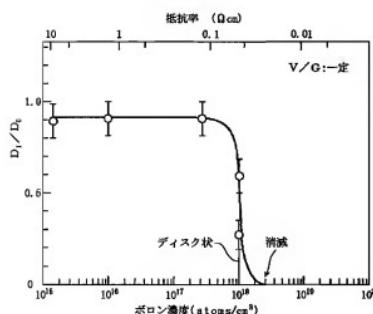
【図1】



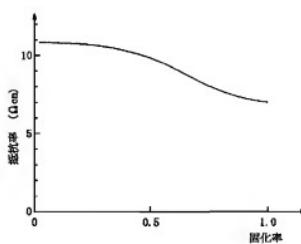
【図3】



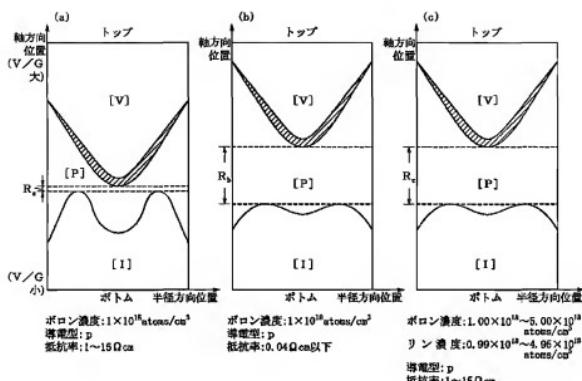
【図4】



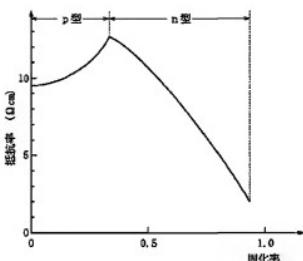
【図5】



【図2】



【図6】



フロントページの続き

(72) 発明者 白木 弘幸
東京都千代田区大手町1丁目5番1号 三
菱マテリアルシリコン株式会社内

F ターム(参考) 4G077 AA02 BA04 CF10 EB01 FE17
5F053 AA12 DD01 FF04 GG01 JJ01
JJ03 RR01